40
N.V.

KIRKPATRICK
INTELLECTUAL PROPERTY

758469/TP

SERVICE PUBLIC FEDERAL ECONOMIE,
PME, CLASSES MOYENNES ET ENERGIE
OFFICE DE LA PROPRIETE INTELLECTUELLE
BOULEVARD ROI ALBERT II, 16
1000 BRUXELLES

INFORMATIQUE
07.09.2007

YOUR REF	OUR REF	DATE
	PAT52005BEEP	06 septembre 2007

OFFICE KIRKPATRICK SA
PATENT & TRADEMARK ATTORNEYS
Avenue Wolfers 32
BE-1310 La Hulpe (Brussels)
BELGIUM
TEL. + 32 2 652 16 00
FAX + 32 2 652 19 00
IP@kirkpatrick.eu
www.kirkpatrick.eu

1852

VAT BE 426 603 921
RPM Nivelles 0426 603 921

Bank details:
ING Bank
Account n°: 310-0115119-66
IBAN BE07 3100 1151 1966
SWIFT/BIC BBRUBEBB100

FORTIS Bank
Account n°: 210-0717846-01
IBAN BE43 2100 7178 4601
SWIFT/BIC GEBABEBB

ISO 9001
Certified by
BVQI

Messieurs,

Re : Brevet européen no 0758469 (95919030.7)
Au nom de SRI International
Date de dépôt de la demande: 03 mai 1995

La mention de la délivrance de ce brevet européen a été publiée au Bulletin Européen des Brevets du 27 juin 2007

Afin d'assurer la protection en Belgique et conformément à l'article 65 de la Convention de Munich, je vous remets une traduction du fascicule du brevet européen.

Type de pouvoir : Pouvoir Spécial

Je vous remercie de bien vouloir me confirmer la publication de cette traduction et vous prie d'agréer, Messieurs, l'expression de mes sentiments distingués.

OFFICE KIRKPATRICK

Guy PLUCKER

OPRI-DIE
06.09.2007

General terms : see reverse.

OFFICE
KIRKPATRICK
Avenue Wolfers, 32
B-1310 LA HULPE
(BRUSSELS) BELGIUM
☎ : (+ 32)2-652 16 00 / 🖷:(+ 32)2-652 19 00

SPECIAL POWER OF ATTORNEY

The undersigned
SRI International
333 Ravenswood Avenue
Menlo Park
California 94025-3493/US
hereby constitute(s) and appoints(s)

Messrs. Guy PLUCKER and Pierre-Paul FRENNET
Professional representatives in accordance with Section 60 of the Belgian Patent Law, all having their professional address at

OFFICE KIRKPATRICK S.A.
Avenue Wolfers, 32
B-1310 La Hulpe (Brussels);

to represent me (us) in all proceedings relating to the validation in Belgium of EP 0758469

In execution of this Power, the said representatives are hereby authorised to sign and file all documents to pay and withdraw all taxes including the maintenance taxes and do generally all that may be necessary or useful to complete the proceedings referred to above.

Signed at Menlo Park, CA

This 12 *day of* July *20*07

Signature [signature]

Name Edward E. Davis

Capacity Assistant Secretary, SRI International

POUVOIR SPECIAL

La soussignée

constitue(nt) pour mandataires

MM. Guy PLUCKER et Pierre-Paul FRENNET mandataires agréés conformément à l'article 60 de la loi belge sur les brevets et ayant tous leur adresse professionnelle à

OFFICE KIRKPATRICK S.A.
Avenue Wolfers, 32
B-1310 La Hulpe (Bruxelles);

à l'effet de nous représenter dans toutes procédures relatives au bervet belge issu du brevet européen 0758469 accordé le 27 juin 2007

En conséquence, lesdits mandataires sont autorisés à signer et déposer toutes pièces, à verser et retirer toutes taxes y compris les taxes de maintien en vigueur et à faire en général tout ce qui sera nécessaire et utile à la bonne exécution des procédures précitées.

Fait à .....,

le .....*20*.....

Signature, Nom, Qualité

(11) Numéro de publication européen : 0758469

(12) TRADUCTION DU BREVET EUROPEEN (B1)

(21) Numéro de dépôt de la demande de brevet européen : 95919030.7

(22) Date de dépôt de la demande de brevet européen :03 mai 1995

(45) Numéro et date du Bulletin Européen où la mention de la délivrance a été publiée : 07/26 du 27 juin 2007

---

(54) Titre : PROCEDE DE TELEMANIPULATION PAR TELEPRESENCE.

---

(73) Titulaire du brevet : SRI International

(51) Int. Cl. : G06T1/00

(74) Mandataire: OFFICE KIRKPATRICK
Avenue Wolfers, 32
B-1310 LA HULPE

ARRIERE-PLAN DE L'INVENTION

La présente invention concerne la télémanipulation par téléprésence et plus particulièrement des applications de télémanipulation de chirurgie laparoscopique.

Un système de télémanipulation permet à un opérateur de manipuler des objets placés dans un espace de travail à partir d'un poste d'opérateur de commande distant. Par exemple, dans une procédure de chirurgie abdominale laparoscopique, on insuffle du gaz dans l'abdomen du patient et on passe des canules par de petites incisions pour fournir des orifices d'entrée pour des instruments chirurgicaux laparoscopiques. Des instruments chirurgicaux laparoscopiques comprennent un moyen de capture d'image pour visualiser le champ chirurgical et les outils de travail, comme des forceps ou des ciseaux. Les outils de travail sont similaires à ceux utilisés en chirurgie ouverte, sauf que l'extrémité opératoire de chaque outil est séparée de sa poignée par un tube d'extension. Le chirurgien exécute la chirurgie en faisant coulisser les instruments à travers les canules et en les manipulant à l'intérieur de l'abdomen en se référant à une image affichée de l'intérieur de l'abdomen. La chirurgie par téléprésence, c'est-à-dire à partir d'un emplacement distant au moyen d'une commande à distance des instruments chirurgicaux, est une étape suivante. Dans l'idéal, un chirurgien est capable d'exécuter une intervention chirurgicale par téléprésence, ce qui, à la différence d'autres techniques de manipulation à distance, donne au chirurgien le sentiment qu'il est en commande directe des instruments, bien qu'il n'ait que la commande à distance des instruments et ne visualise que via l'image affichée.

L'efficacité de la téléprésence découle en grande partie de l'illusion que les manipulateurs distants sont perçus par l'opérateur du système comme dépassant des dispositifs de commande manuelle situés au poste de l'opérateur distant. Si les

moyens de capture d'image, comme une caméra ou un laparoscope, sont placés dans une position par rapport aux manipulateurs qui diffère significativement du rapport anthropomorphique des yeux et des mains, les manipulateurs sembleront être placés loin des commandes manuelles de l'opérateur. Cela amènera les manipulateurs à se déplacer d'une manière maladroite par rapport à la position d'observation, rendant l'opérateur incapable de les commander avec dextérité et rapidité. Cependant, il est souvent inévitable dans des applications comme la chirurgie laparoscopique de déplacer le laparoscope pour obtenir la meilleure image possible de la cavité abdominale.

Le brevet US numéro 5 182 641 décrit un système pour l'affichage d'image vidéo en temps réel pour téléguidage de robots ou de véhicule distant. Le système a au moins un moniteur de télévision pour l'affichage d'une image de télévision à partir d'une caméra sélectionnée et la capacité de choisir une caméra pour l'affichage d'image. La de brevet international WO 93/05479 décrit un procédé et un dispositif pour calibrer une trame de commande d'outil d'un robot par rapport à une trame de référence de calibrage connue attachée à une liaison de robot.

Ainsi, une technique est nécessaire pour fournir à l'opérateur l'impression d'une commande manuelle directe du manipulateur distant, même en présence d'un dispositif de formation d'image sensiblement déplacé, afin que l'opérateur ait l'impression de voir l'espace de travail en vraie présence.

RESUME DE L'INVENTION

Selon un aspect de l'invention, un système de télémanipulation est proposé selon la revendication 1. Les fonctions préférées du système sont définies dans les revendications dépendant de la revendication 1.

Selon un autre aspect de l'invention, un procédé est proposé pour manipuler des objets selon la revendication 21. Les fonctions préférées du procédé sont définies dans les revendications dépendant de la revendication 21.

Selon un autre mode de réalisation de l'invention, un système de télémanipulation est proposé pour manipuler des objets placés dans un espace de travail à un site de travail distant par un opérateur à un poste d'opérateur, comme dans un système chirurgical distant, le site de travail distant ayant un manipulateur ou une paire de manipulateurs dotés chacun d'un organe effecteur pour manipuler un

objet dans l'espace de travail, comme une cavité anatomique, un contrôleur comprenant une commande manuelle au poste de l'opérateur de commande pour la commande à distance des manipulateurs, un moyen de capture d'image, comme une caméra, pour capturer en temps réel une image de l'espace de travail et un moyen de production d'image pour reproduire une image visualisable avec un feedback suffisant pour donner à l'opérateur de commande l'impression d'une commande en temps réel sur l'objet dans l'espace de travail, l'amélioration dans laquelle des moyens sont fournis pour détecter la position du moyen de capture d'image par rapport à l'organe effecteur, et des moyens sont fournis pour transformer l'image en temps réel visualisable en une image en perspective avec manipulation corrélée de l'organe effecteur par les moyens de commande manuelle de sorte que l'opérateur puisse manipuler l'organe effecteur et le manipulateur comme s'il visualisait l'espace de travail sensiblement en vraie présence. Vraie présence signifie que la présentation d'une image est une vraie image en perspective simulant le point de visualisation d'un opérateur. La transformation d'image selon l'invention comprend la rotation, la translation et la correction de perspective.

Les modes de réalisation préférés de l'invention seront mieux compris en référence à la description détaillée suivante en connexion avec les dessins d'accompagnement.

BREVE DESCRIPTION DES DESSINS

La figure 1A est une vue de côté d'un poste d'opérateur distant et d'un poste de site de travail dans un système de télémanipulation selon la présente invention.

La figure 1B est une vue en perspective d'un poste d'opérateur distant et d'un poste de site de travail adapté à l'observation stéréoscopique dans un système de télémanipulation selon la présente invention.

La figure 2 est une vue en perspective schématique d'un mode de réalisation spécifique de l'invention dans lequel le moyen de capture d'image est centré et perpendiculaire par rapport au point de visualisation d'un opérateur utilisant les manipulateurs.

La figure 3 est une vue en perspective schématique d'un mode de réalisation spécifique de l'invention dans lequel le moyen de capture d'image est déplacé

latéralement par rapport au point de visualisation d'un opérateur utilisant les manipulateurs.

La figure 4 est une vue en perspective schématique d'un mode de réalisation spécifique de l'invention dans lequel le moyen de capture d'image est à une position inférieure par rapport au point de visualisation d'un opérateur utilisant les manipulateurs.

La figure 5A est une vue frontale en élévation des objectifs d'un moyen de capture d'image stéréoscopique dans lequel les objectifs sont dans une position perpendiculaire par rapport au point de visualisation d'un opérateur utilisant les manipulateurs.

La figure 5B est une vue frontale en élévation des objectifs d'un moyen de capture d'image stéréoscopique dans lequel les objectifs sont tournés par rapport au point de visualisation d'un opérateur utilisant les manipulateurs.

La figure 6A est une vue en projection horizontale supérieure d'une image d'un manipulateur distant dans un système de télémanipulation qui représente un élément à quatre points de coordonnées stéréographiques superposés avant calibrage.

La figure 6B est une vue en projection horizontale supérieure d'une image d'un manipulateur distant dans un système de télémanipulation qui représente un élément à quatre points de coordonnées stéréographiques superposés après calibrage.

La figure 7A est une vue en projection horizontale supérieure d'une image d'un manipulateur distant dans un système de télémanipulation qui représente l'angle de déplacement à l'horizontale du moyen de capture d'image par rapport aux manipulateurs.

La figure 7B est une vue agrandie d'une partie de la figure 4A qui représente l'effet combiné sur la position de l'organe effecteur d'un manipulateur après un décalage latéral.

La figure 8 est une représentation géométrique de l'image d'un manipulateur comme projection d'une commande manuelle.

La figure 9 est une représentation géométrique du manipulateur réel dont l'image est représentée sur la figure 8.

DESCRIPTION DE MODES DE REALISATION SPECIFIQUES

La figure 1A représente un système de télémanipulation 10 selon un mode de réalisation de la présente invention avec un poste d'opérateur distant 12 où un opérateur 14 (un chirurgien, par exemple) peut exécuter une télémanipulation sur un objet à un poste de site de travail 16. Le poste distant 12 comprend un écran vidéo 20 pour que l'opérateur 14 voie le site de travail, et un espace de travail virtuel 22 où l'opérateur 14 effectue les manipulations réelles en saisissant des moyens de commande manuelle 24, 26, comme des poignées d'instrument chirurgicaux, qui sont reliées aux détecteurs de position 51, 55. La station de site de travail 16 comprend un moyen de capture d'image 19, comprenant un moyen de détection 21 avec l'objectif 28 d'une caméra ou d'un endoscope, et comprenant qu'il existe un moyen de capture d'image 19 associé à cet objectif, qui capture une image d'un objet placé dans l'espace de travail 30. (Un endoscope serait dans la cavité anatomique.) Les manipulateurs 32, 34 permettent la manipulation de l'objet dans l'espace de travail 30 corrélée avec une image affichée en utilisant un moyen d'organe effecteur 39, 41.

L'image capturée au site de travail 16 est transmise par un certain nombre d'étages qui présentent à l'opérateur 14 une image en temps réel de l'objet dans l'espace de travail 30. En particulier, un moyen de détection 21, comprenant un moyen optique de capture d'image 19, propose une vue des manipulateurs 32, 34 à travers un objectif de caméra 28, transmettant de telles informations d'image via le chemin 13 à un processeur d'image 23. De plus, les informations de position de détecteur d'image (position de caméra) peuvent être transmises sur le chemin 63 au transformateur de coordonnées (C. T.) 43. (Pour une caméra fixe, les informations de position de caméra peuvent être définies à l'avance.) En outre, le moyen mécanique de détection de position 59, 61 détecte la position des manipulateurs 32, 34 mécaniquement, transmettant les informations de position au transformateur de coordonnées 43 via le chemin 157.

Le processeur d'image 23 comprend un moyen de rotation et de translation 25, un moyen de correction de perspective 29 et un moyen de calibrage 27. Le rotateur sert à tourner l'image et le translateur sert à décaler l'image tournée. Le correcteur de perspective 29 sert principalement à agrandir l'image et peut comprendre une correction de l'inclinaison. Le calibreur 27 peut avoir diverses fonctions, selon le type d'image entrée. Il est utilisé notamment pour calibrer l'image selon un système

de coordonnées de référence connu pour permettre à un opérateur de coordonner les mouvements des commandes manuelles et des manipulateurs. Après que l'image a subi une transformation par un ou plusieurs de ces blocs de fonction, les données de pixel sont transmises sur le chemin 15 à un dispositif de formation d'image 31 qui commande un écran vidéo 20 qui, dans ce mode de réalisation, est un dispositif monoscopique, et les données sur l'image sont transmises au transformateur de coordonnées 43, de manière que n'importe quelles données d'image traitées affectant potentiellement la commande des manipulateurs (agrandissement, rotation, translation, par exemple) soient rendues disponibles pour la commande des manipulateurs. Les détails des processus qui peuvent être affectés sont donnés ci-dessous, notamment en ce qui concerne le calibrage.

Le transformateur de coordonnées 43 est le processeur principal d'informations de position. Des informations de position de caméra, des informations de position de manipulateur et des informations de position des commandes manuelles y sont reçues et traitées. En particulier, les positions des commandes manuelles 24, 26 sont détectées par des détecteurs de position 51, 51 et transmises via le chemin 47 au transformateur de coordonnées 43. Après transformation et traitement dans le transformateur de coordonnées 43, les informations de commande sont appliquées à la servocommande de suivi de position 45, qui pilote et contrôle les manipulateurs 32, 34 avec des organes effecteurs 39, 41. Le fonctionnement de chacun de ces blocs sera décrit plus en détail.

En fonctionnement, l'objectif de caméra 28 capture l'image de l'objet dans l'espace de travail réel 30 dans une orientation spécifique sur le moyen de capture d'image 19. L'écran vidéo 20 affiche cette image de sorte que l'opérateur 14 puisse visualiser l'objet tandis qu'il est manipulé. L'opérateur 14 peut alors saisir les moyens de commande manuelle 24, 26 placés dans l'espace de travail virtuel 22 pour effectuer les manipulations désirées. Les moyens de commande manuelle 24, 26 au poste distant 12 sous l'instruction de la servocommande de suivi de position 45 commandent les manipulateurs 32, 34 au poste de site de travail 16, qui manipulent réellement l'objet dans l'espace de travail 30. L'espace de travail réel 30 est ainsi efficacement rétro-projeté vers l'opérateur distant 14 pour créer l'illusion qu'il l'atteint et le regarde directement et contrôle l'objet placé dans l'espace de travail 30. Projeté correctement, cela se traduit par des mouvements de commande naturels et spontanés

par l'opérateur 14, même si celui-ci se trouve dans une autre pièce ou à un autre endroit extrêmement éloigné.

Les problèmes traités par la présente invention résultent de la situation dans laquelle l'objectif de caméra 28 n'est pas placé à la même position dans l'espace de travail réel 30 par rapport aux manipulateurs 32, 34 tandis que les yeux de l'opérateur de commande visualisent l'image projetée dans l'espace de travail « virtuel » 22 par rapport aux moyens de commande manuelle 24, 26. Une solution est proposée par la présente invention.

Le système de télémanipulation selon la présente invention peut aussi être adapté pour permettre une observation stéréoscopique. La figure 1B représente tous les éléments de la figure 1A, avec l'ajout d'un deuxième objectif de caméra 36 et d'un moyen de capture d'image 35. Les deux objectifs de caméra 28 et 36 peuvent être séparés de 10°, ce qui correspond à la même disparité d'observation interoculaire que l'on connaît quand on observe un champ visuel à 40 cm de distance. L'image stéréo est affichée sur un moniteur d'affichage vidéo stéréo 38 (en utilisant, par exemple, un polariseur à commutation électronique 37 sur l'écran), et vue par des objectifs stéréoscopiques à polarisation croisée 40, offrant ainsi une image naturelle à l'opérateur distant 14 de sorte que l'opérateur reçoit un feedback visuel correct quand il atteint et regarde directement l'espace de travail réel 30 et manipule directement l'objet qui s'y trouve. Les détails du système sont expliqués ci-après.

La figure 2 est une vue en perspective schématique des éléments du poste de site de travail 16 dans l'espace de travail 30 du système de télémanipulation, représentant les fonctions de la figure 1 qui sont dans une boucle de commande. L'opérateur système est à un poste distant pour manipuler des objets placés à un point central 50 dans l'espace de travail 30. Dans le système monoscopique, le moyen de détection 21 avec objectif de caméra 28 et moyen de capture d'image 19 capture une image en temps réel de l'objet. L'opérateur 14 utilise des moyens de double commande manuelle 24, 26 pour commander le manipulateur gauche 32 et le manipulateur droit 34, respectivement, qui permettent la manipulation à distance de l'objet dans l'espace de travail 30. Pour les moyens de commande manuelle 24, 26 et les manipulateurs 32, 34, il existe dans cet exemple un point pivot fixe autour duquel un mouvement angulaire bidirectionnel peut être effectué, conjointement avec une capacité d'extension de type télescopique pour chacun des manipulateurs et des

contrôleurs manuels. La corrélation entre les moyens de commande manuelle 24, 26 et les manipulateurs 32, 34, combinée avec l'image capturée par l'objectif de caméra 28, fournit un feedback suffisant pour donner l'impression à l'opérateur de commande d'une commande en temps réel de l'objet dans l'espace de travail (une amélioration supplémentaire est possible avec un feedback tactile). Le manipulateur gauche 32 et le manipulateur droit 34 dans cet exemple sont tous deux levés à 30° par rapport à un plan d'orientation arbitraire, comprenant un axe de ligne médiane 52 de l'espace de travail 30, pour simuler un positionnement typique d'un objet dans l'espace de travail local réel 30.

En fonctionnement, l'objectif de caméra 28 est à la position latérale de 0° par rapport à l'axe de ligne médiane 52, de sorte que l'objectif de caméra 28 est entre le manipulateur gauche 32 et le manipulateur droit 34. La face de l'objectif de caméra 28 est levée, par exemple, à un angle de 45° par rapport au plan contenant l'axe de ligne médiane 52 et la ligne de base 53. Cette position et cette orientation de caméra sont une approximation proche de la position réelle de l'œil par rapport aux manipulateurs 32 et 34, et représentent une position de référence ou de base. L'image capturée par l'objectif de caméra 28 se présente comme si l'opérateur regardait le point central 50 en se tenant debout au-dessus des manipulateurs 32 et 34 avec une vue angulaire de 45° dans l'espace de travail. Le manipulateur gauche 32 et le manipulateur droit 34 apparaissent tous deux en bas de l'image affichée (côté proximal par rapport aux commandes manuelles de l'opérateur), donnant une forte impression de téléprésence, ce qui signifie que l'opérateur à l'impression d'une commande directe des manipulateurs 32 et 34, permettant une commande avec dextérité et rapidité, notamment quand il existe un feedback tactile des manipulateurs 32, 34 aux moyens de commande manuelle 24, 26.

Dans une application de télémanipulation dans laquelle le positionnement d'éléments est difficile en raison d'obstructions, il est souvent nécessaire de déplacer l'objectif de caméra 28 à différentes positions pour obtenir une vue différente de l'objet au point central 50. Référant à la figure 3, celle-ci représente une vue en perspective schématique des éléments dans l'espace de travail 30 du poste de site de travail 16 d'un système de télémanipulation monoscopique dans lequel la position de l'objectif de caméra 28 est tournée d'un angle θ 58 latéralement dans le plan horizontal par rapport à l'axe de ligne médiane 52. Après rotation de l'objectif de

caméra 28, le manipulateur gauche 32 et le manipulateur droit 34 sont encore inclinés vers le bas à un angle de 30° par rapport au plan contenant l'axe de ligne médiane 52 et la ligne de base 53, et l'objectif de caméra 28 est encore placé à un angle θ au-dessus du plan formé par l'axe de ligne médiane 52 et la ligne de base 53. Pour donner une impression de téléprésence au niveau de l'opérateur similaire au cas dans lequel l'objectif de caméra 28 est placé directement sur des manipulateurs 32 et 34 (comme sur la figure 2), selon l'invention, l'image capturée projetée par l'objectif de caméra 28 est tournée autour de l'axe visuel 54 à travers le centre de l'objectif de caméra 28. Cela compense la rotation de l'axe « vertical » U pour effectuer une réorientation statique des positions virtuelles des manipulateurs.

Il devrait être compris que l'objectif de caméra 28 et le moyen de capture d'image 19 jouissent d'une plage complète de rotation de l'axe vertical U, et que les angles par rapport aux plans de référence et similaires des manipulateurs et de la caméra sont dictés par les contraintes de l'environnement d'exploitation. De plus, l'objectif de caméra 28 peut être placé à des angles différents par rapport au plan formé par l'axe de ligne médiane 52 et la ligne de base 53. Par exemple, la figure 4 représente l'objectif de caméra 28 placé à une élévation de 15° au-dessus du plan de référence (arbitraire) formé par l'axe de ligne médiane 52 et la ligne de base 53. Dans cet alignement, l'objectif de caméra 28 est en dessous des manipulateurs 32, 34.

Si l'image est purement monoscopique comme représentée sur la figure 1A, le système peut effectuer une réorientation statique des manipulateurs 32 et 34 autour d'un axe 54 à travers un point, spécifiquement le point central 50, en tournant l'image numérique par le biais du moyen de rotation 25. La figure 3 représente les angles appropriés de rotation. L'angle Φ 56 désigne l'angle de déviation de l'axe visuel 54 de l'objectif de caméra 28 en dessous de l'axe vertical U. L'angle θ 58 désigne la rotation de la position de l'objectif de caméra 28 dans le plan horizontal (formé par les lignes 52, 53) distant de l'axe de ligne médiane 52 par rapport au point central 50.

Le moyen de rotation 25 effectue le réalignement statique des manipulateurs en faisant tourner l'image en temps réel pixel par pixel d'un angle égal approximativement à $-\theta$, selon des procédés connus. Une fois que cette opération est terminée, le manipulateur gauche 32 et le manipulateur droit 34 apparaissent en bas de l'image affichée (moitié inférieure de l'écran projeté). L'objectif de caméra 28 reste stationnaire et l'image affichée est tournée par manipulation d'image. Notez que

si des moyens de commande manuelle 24, 26 au poste de l'opérateur sont placés au-dessus du point de visualisation de l'opérateur de commande, la rotation de l'image affichée corrigera l'image affichée au point où les manipulateurs apparaissent au sommet de l'image affichée (moitié supérieure de l'écran projeté). Dans l'un ou l'autre cas, la transformation de l'image affichée permet à l'opérateur de visualiser les manipulateurs comme s'ils dépassaient des commandes manuelles de l'opérateur. La reconfiguration de l'image est effectuée avant que la commande réelle puisse être effectuée.

En plus d'effectuer un réalignement statique par transformation numérique de l'image, le moyen de transformation 25 peut effectuer une synchronisation dynamique de positions virtuelles de la pointe des manipulateurs avec des positions des commandes manuelles en exécutant la transformation de coordonnées suivante sur les données d'image vidéo. La position réelle des pointes des manipulateurs dans l'espace de travail 30 peut être transformée en une position virtuelle sur l'image affichée de sorte que les manipulateurs semblent se déplacer comme s'ils étaient reliés de manière rigide aux commandes manuelles de l'opérateur. La modification de la position virtuelle des pointes des manipulateurs améliore la dextérité de l'opérateur dans le traitement de l'objet dans l'espace de travail 30. Comme on connaît le point final de l'organe effecteur du manipulateur, le point (a,b,c) peut être associé à la position angulaire et à la longueur du manipulateur, et le point (p,q,r) peut être lié aux mêmes paramètres par rapport à la commande manuelle en utilisant des rapports trigonométriques bien connus entre les vecteurs et leurs buts finaux. Ainsi :

$$\begin{vmatrix} p \\ q \\ r \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \cos\theta' & \sin\theta' & 0 \\ -\sin\theta' & \cos\theta' & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \cos\phi & 0 & \sin\phi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\phi & 0 & \cos\phi \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} a \\ b \\ c \end{vmatrix}$$

(Equation 1)

En connexion avec la transformation associée à l'équation ci-dessus, l'image est tournée d'un angle θ' choisi par l'opérateur pour amener la position virtuelle des manipulateurs en concordance substantielle avec les commandes manuelles. On constate que l'angle $\theta' \approx -\theta$. Cette transformation décrit le rapport entre la position du point représenté par le moyen d'organe effecteur à (a,b,c) (pour n'importe quel

moyen d'organe effecteur) et le point (p,q,r) de la pointe correspondante du manipulateur dans l'espace de travail virtuel sur l'image affichée sur l'écran vidéo 20.

Un autre procédé pour réaliser une réorientation statique de positions de manipulateur consiste à faire tourner le moyen de capture d'image autour de son axe visuel. Référant de nouveau au système monoscopique représenté sur la figure 1A et la figure 3, on fait tourner l'objectif de caméra 28 autour de son axe visuel propre 54, un axe normal au plan de l'objectif de caméra 28, au point où le manipulateur gauche 32 et le manipulateur droit 34 apparaissent en bas de l'image affichée (moitié inférieure de l'écran projeté). Notez encore une fois que si des moyens de commande manuelle au poste opérateur sont placés au-dessus du point de visualisation de l'opérateur de commande, la rotation de l'objectif de caméra 28 et du moyen de capture d'image 19 corrigeront l'image affichée au point où les manipulateurs apparaissent dans la partie supérieure de l'image affichée (moitié supérieure de l'écran projeté).

Pour conserver l'effet stéréoscopique, en cas de formation d'image stéréoscopique, comme représenté sur la figure 1B, les rotations ne peuvent pas être faites autour d'axes séparés par chaque objectif de caméra, mais (référant à la figure 5A et à la figure 5B) doivent être faites de concert autour d'un seul axe décalé par rapport à l'un ou l'autre des objectifs. Spécifiquement, la rotation est faite normale à l'axe central 57 passant par le point central 50 et un point arbitraire sur l'axe central 57 entre les objectifs des caméras stéréoscopiques 28 et 36 (figures 5A et 5B). Cet axe est similaire à l'axe visuel 54 décrit en connexion avec la figure 2. Référant à la figure 5A, les objectifs d'un dispositif stéréoscopique sont représentés dans leur position initiale. L'axe central 57 montre la relation fixe de chaque objectif de la paire de caméras et est parallèle à un axe de référence 59 parallèle à un axe dans le plan formé par les manipulateurs 32, 34 se croisant au point central 50, où l'axe est normal à une ligne partageant en deux les manipulateurs et passant par le point central 50. Pour réorienter l'image affichée par rotation des moyens de capture d'image, l'axe central 57 est incliné par rapport à un plan de référence 59 passant par le point central 50, lequel plan comprend un axe de référence 59, comme représenté sur la figure 5B.

Il existe une limitation quant à la quantité de rotation visuellement acceptable du moyen stéréoscopique de capture d'image 19, 35 et l'élévation des moyens de

capture d'image 19, 35 par rapport au plan des manipulateurs 32, 34. L'élévation ne peut pas être grande au point de rendre impossible la modification de l'angle de vue relatif de chacun des deux manipulateurs l'un par rapport à l'autre. Evidemment, si l'angle Φ est égal à une élévation de 90° (l'axe d'observation 54 se trouvant dans le plan de référence formé par les lignes 52 et 53), aucune modification utile de l'angle de vue relatif ne sera réalisée en faisant tourner l'image. A d'autres angles d'élévation, la limitation dépend de l'angle de séparation des manipulateurs 32, 34 et secondairement de la séparation des objectifs stéréoscopiques 28, 36.

En plus d'effectuer une réorientation statique des positions des manipulateurs par rotation de l'objectif de caméra 28, le système peut effectuer un réalignement dynamique en exécutant une transformation de coordonnées grâce au moyen de translation 25. La position réelle des pointes des manipulateurs dans l'espace de travail 30 peut être transformée en une position virtuelle sur l'image affichée de sorte que les manipulateurs semblent se déplacer comme s'ils étaient reliés de manière rigide aux commandes manuelles de l'opérateur. La modification de la position virtuelle des pointes des manipulateurs améliore la dextérité de l'opérateur dans le traitement de l'objet dans l'espace de travail 30.

La figure 8 et la figure 9 représentent l'image 132 d'un manipulateur (32) et d'un manipulateur réel 32, respectivement, par rapport à une commande manuelle 24. Dans cet exemple, et en comparaison avec la figure 2, les manipulateurs et les contrôleurs correspondants représentés par des commandes manuelles sont d'un type utilisant un seul point pivot 151, 161 en connexion avec les détecteurs de position 51, 61 avec pivot bidimensionnel autour du ou des points et s'étendant le long de l'axe du manipulateur 32. D'autres mouvements compatibles avec ces mises en action, comme la rotation longitudinale du manipulateur autour de son axe sont envisagés par l'invention. En référence à la figure 8 et à la figure 9, le mouvement de la commande manuelle 24 amène la pointe 72 du manipulateur à se déplacer à un nouveau point (a,b,c) dans l'espace de travail 30 de sorte que l'image 132 de la pointe 172 du manipulateur se déplace à un nouveau point (p,q,r) dans l'espace de travail virtuel 22, ce point apparaissant dans la vue de l'opérateur pour être à l'extrémité étendue de la commande manuelle 24. Il peut être préférable d'exprimer les commandes de servocommande concernant la commande manuelle et le manipulateur correspondant dans leurs systèmes de coordonnées polaires (Ω, ψ, L) et (Ω', ψ', L'). Ces

coordonnées polaires et leurs points respectifs en systèmes de coordonnées cartésiens sont associés par transformations bien connues de polaires en cartésiens.

Référant de nouveau à la figure 3, les angles spécifiques de rotation utilisés pour calculer la transformation de coordonnées sont représentés. L'angle Φ 56 désigne l'angle de déviation de l'axe visuel 54 de l'objectif de caméra 28 en dessous de l'axe vertical U. L'angle θ 58 désigne la rotation de l'objectif de caméra 28 dans le plan horizontal distant de l'axe de ligne médiane 52 par rapport au point central 50 dans l'espace de travail 30. L'angle Γ 60 désigne la rotation de l'objectif de caméra 28 autour de son axe visuel 54.

Dans l'utilisation d'un système de télémanipulation monoscopique, l'objectif de caméra 28 et le moyen de capture d'image 19 sont tournés autour de l'axe visuel 54 comme décrit ci-dessus. Les coordonnées (a,b,c) dans un système de coordonnées cartésien orthogonal de référence de l'espace de travail tridimensionnel 30 définissent la position réelle de la pointe d'un manipulateur, comme le manipulateur gauche 32. L'équation matricielle suivante concerne la position virtuelle désirée (p,q,r en espace cartésien orthogonal) de la pointe de manipulateur sur l'image affichée sur l'écran vidéo 20 à la position réelle (a,b,c) de la pointe de manipulateur dans l'espace de travail 30 :

$$\begin{vmatrix} p \\ q \\ r \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \cos\Gamma & \sin\Gamma & 0 \\ -\sin\Gamma & \cos\Gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \cos\Phi & 0 & \sin\Phi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\Phi & 0 & \cos\Phi \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} a \\ b \\ c \end{vmatrix}$$

(Equation 2)

Quand la pointe de manipulateur est affichée à une position (p,q,r) sur l'image affichée sur l'écran vidéo 20, le manipulateur apparaît à l'opérateur comme s'il était réellement à l'extrémité du dispositif de commande manuel rigide de l'opérateur. La transformation de coordonnées améliore la facilité avec laquelle l'opérateur peut manipuler des objets dans l'espace de travail en utilisant un système de télémanipulation.

En cas de formation d'image stéréoscopique, le moyen stéréoscopique de capture d'image 19, 35 est tourné par rapport à un axe de référence 59 parallèle à un axe dans le plan formé par des manipulateurs 32, 34 se croisant au point central 50, où l'axe est normal à une ligne partageant en deux les manipulateurs et passant par le

point central 50, comme indiqué sur la figure 5B. L'angle Γ 60 mesure la quantité de rotation des objectifs stéréoscopiques 28, 36, et sa valeur peuvent être utilisée dans l'équation 2 pour calculer la transformation de coordonnées appropriée pour l'observation stéréoscopique.

Pour assurer que les mouvements des manipulateurs 32, 24 dans l'espace de travail 30 suivent correctement les mouvements des commandes manuelles 24, 26 dans l'espace de travail virtuel de l'opérateur 22 même sans une connaissance exhaustive de tous les angles et positions, l'opérateur peut établir une référence de calibrage pour les manipulateurs 32, 34 comme ils sont vus sur l'image affichée sur l'écran vidéo 20 en connexion avec la servocommande de suivi de position. Référant à la figure 6A, qui représente l'image affichée sur l'écran vidéo 20, un élément graphique à quatre points de coordonnées 62, par exemple, sous la forme d'une structure en tétraèdre ou en cube en vue tridimensionnelle, peut être superposé dans l'espace tridimensionnel sur l'écran d'image stéréo, fournissant une référence de coordonnées dans l'espace d'image tridimensionnel. Pour calibrer la position d'un seul manipulateur par rapport à sa commande manuelle correspondante, le système « ouvre » la boucle de commande, et l'opérateur 14 déplace la commande manuelle 24, par exemple, tout en observant le mouvement de la pointe de manipulateur 32, guidant la pointe jusqu'à ce qu'elle semble toucher un premier point de référence 64 de l'élément graphique superposé 62, comme indiqué sur la figure 6B. (Puisque le mouvement de la commande manuelle et celui de la pointe de manipulateur n'ont pas encore été coordonnés, l'alignement de la pointe sur le premier point de référence peut nécessiter un effort très délibéré.) L'opérateur 14 indique alors au système que la superposition du manipulateur et du point de référence a été réalisée (par exemple, un signal « défini » est envoyé au système).

Le système bloque alors le manipulateur 32 en place, ouvre la boucle de commande en la découplant de la commande manuelle 24 et donne à l'opérateur 14 l'instruction de libérer la commande manuelle 24. Le système ajuste l'extension L (figures 8 et 9) de la commande manuelle pour qu'elle corresponde à celle du manipulateur L', en insérant le décalage $\sigma 3 = L - L'$, de sorte que lorsque la boucle de commande est fermée, il n'y ait aucun mouvement réactif de l'un ou l'autre dispositif. Autrement dit, les positions d'extension virtuelles de la commande manuelle 24 et du manipulateur 32 doivent être identiques en comparaison dans la boucle de commande.

Le système ferme alors la boucle de commande et déverrouille le manipulateur 32, rendant la commande à l'opérateur 14.

L'opérateur déplace alors la commande manuelle autour de son point pivot à une orientation angulaire (ψ, Ω) à laquelle l'opérateur a l'impression que l'image du manipulateur semble dépasser de la commande manuelle de l'opérateur. De façon similaire au processus décrit ci-dessus, le système calcule les transformations qui assurent qu'il n'y aura aucun mouvement réactif par le maître ou par l'esclave quand la boucle de commande est fermée. Le système calcule des décalages angulaires $\sigma 1 = \psi - \psi'$ et $\sigma 2 = \Omega - \Omega'$, transformant la position virtuelle du maître ou de l'esclave avant de refermer la boucle de commande. Le système enregistre maintenant les positions dans l'espace tridimensionnel du maître de commande manuel (ψ_1, Ω_1, L_1) et de l'esclave manipulateur (ψ'_1, Ω'_1, L'_1).

L'opérateur répète les éléments de ce processus avec les points de référence restants de l'élément graphique en surimpression 62. Le système peut alors calculer et installer l'équation linéarisée suivante concernant des changements progressifs dans la position des commandes manuelles maîtres 24, 26 aux changements incrémentiels de la position des manipulateurs esclaves 32, 34, utilisant les données définies pour déterminer les coefficients des équations relatifs aux positions :

$$\begin{aligned} \Delta\Omega' &= k_{11}\Delta\Omega + k_{12}\Delta\Psi + k_{13}\Delta L \\ \Delta\Psi' &= k_{21}\Delta\Omega + k_{22}\Delta\Psi + k_{23}\Delta L \\ \Delta L' &= k_{31}\Delta\Omega + k_{32}\Delta\Psi + k_{33}\Delta L \end{aligned}$$

La solution de l'équation linéarisée ci-dessus est la suivante :

$$\begin{vmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \Delta\Omega'_1 & \Delta\Omega'_2 & \Delta\Omega'_3 \\ \Delta\Psi'_1 & \Delta\Psi'_2 & \Delta\Psi'_3 \\ \Delta L'_1 & \Delta L'_2 & \Delta L'_3 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \Delta\Omega_1 & \Delta\Omega_2 & \Delta\Omega_3 \\ \Delta\Psi_1 & \Delta\Psi_2 & \Delta\Psi_3 \\ \Delta L_1 & \Delta L_2 & \Delta L_3 \end{vmatrix}^{-1}$$

(Equation 3)

Le système installe ces valeurs de coefficient dans le transformateur de coordonnées 43 qui contrôle la servocommande 45, avec des décalages appropriés σ_1, σ_2 et σ_3, de sorte qu'il n'y ait aucun mouvement réactif quand la boucle est fermée.

Dans un autre mode de réalisation, le calibrage des manipulateurs est réalisé par déplacement virtuel à l'aide du système. Référant à la figure 6B, c'est le système qui déplace la pointe du manipulateur 32, et non l'opérateur qui guide la pointe du manipulateur 32, à l'un des quatre points définis dans l'espace de travail tridimensionnel 30, comme le point de référence 64 vu par l'opérateur. En utilisant la commande manuelle 24, l'opérateur 14 calibre alors de manière dynamique la position du manipulateur 32 en pilotant un point graphique superposé jusqu'à ce que celui-ci apparaisse superposé sur la pointe du manipulateur 32. L'opérateur 14 indique alors au système que la superposition de la pointe du manipulateur 32 et du point de référence 64 a été réalisée, et les coordonnées du manipulateur 32 et de la commande manuelle 24 sont enregistrées. Le processus est répété pour les points de référence restants, après que le système calcule et installe une formule de transformation de coordonnées dans le transformateur de coordonnées 43, comme décrit dans le mode de réalisation ci-dessus.

Dans la pratique réelle, il est préférable que le chirurgien, plutôt que le système, lance le processus de calibrage si l'invention est utilisée en chirurgie laparoscopique. Pendant la chirurgie, le processus de calibrage est effectué dans l'abdomen d'un patient, où il y a peu de place pour manœuvrer. De ce fait, on peut considérer les mouvements automatiques du manipulateur, même petits, moins souhaitables que des mouvements contrôlés d'opérateur.

Un autre procédé pour donner une impression de téléprésence dans un système de télémanipulation implique l'utilisation d'une transformation de coordonnées spécifique pour compenser d'autres changements dans l'image affichée, comme un décalage latéral ou un changement d'échelle. La caméra peut subir un déplacement latéral ou angulaire, qui modifie l'image affichée. De plus, la caméra peut agrandir l'objet dans l'espace de travail, ce qui provoque un changement d'échelle et un déplacement du point pivot apparent du manipulateur.

Les figures 7A et 7B montrent l'effet combiné d'un décalage latéral de l'image et d'un changement d'échelle provoqué par l'agrandissement de l'image. La figure 7A représente une partie de l'image affichée, comprenant un manipulateur 32, dans un champ bidimensionnel. Le centre de l'image est aux coordonnées (0, 0). L'opérateur a la meilleure impression possible de téléprésence si la pointe du manipulateur 72 aux coordonnées (u, v) dans le champ d'image semble se déplacer comme s'il était fixé de

manière rigide au dispositif de commande dans la main de l'opérateur. On fait pivoter le dispositif de commande au point (m, n) sur la figure. Le manipulateur se trouve à un angle α 74 par rapport à l'axe y, et la distance du point pivot (m, n) à la pointe du manipulateur (u, v) est la longueur L 76.

La figure 7B montre ce que verrait l'opérateur si l'image était agrandie d'un facteur M. Le centre de l'image est décalé latéralement d'une distance de Δx et Δy, et les nouvelles coordonnées virtuelles de la pointe du manipulateur 72 sont (u', v'). Pour assurer un niveau désiré de téléprésence, l'angle α 74 et la longueur L 76 sont reconfigurés par le moyen de correction de perspective 29 sur l'image affichée pour donner à l'opérateur l'impression que la pointe du manipulateur 72 est toujours fixée de manière rigide au dispositif de commande manuel. La paire suivante d'équations décrit la reconfiguration de l'angle α 74 en angle α' 78 et de la longueur L 76 en longueur L' 80 :

$$\alpha' = \arctan [(u' - m) / (v' - n)] \quad \text{et}$$

$$L' = [(u' - m)^2 + (v' - n)^2]^{1/2}$$

où :

$$u' = M (u - \Delta x) \qquad v' = M (v - \Delta y) \quad \text{et où}$$

$$u = L (\sin \alpha) + m \qquad v = L (\cos \alpha) + n$$

Quand α' et L sont reconfigurés selon les équations ci-dessus, la pointe du manipulateur 72 semble se déplacer sur l'image affichée comme si celui-ci était relié de manière rigide au dispositif de commande manuel de l'opérateur.

Les relations ci-dessus peuvent être étendues pour inclure des transformations dans trois dimensions pour compenser le déplacement des manipulateurs quand on fait tourner l'objectif de caméra 28 autour de son axe visuel propre 54, comme dans le mode de réalisation décrit en référence à la figure 3. Dans tous les cas, le but recherché de maintenir le plan perçu contenant les deux manipulateurs coïncidant avec le plan des deux commandes manuelles est réalisé.

L'invention a maintenant été expliquée en référence à des modes de réalisation spécifiques. D'autres modes de réalisation seront évidents à l'homme du

métier se référant à la présente description. Par exemple, l'invention peut être étendue aux manipulateurs articulés avec de multiples points de rotation et de translation ou avec des points de pivot à des emplacements physiquement non rattachés aux manipulateurs. L'intention n'est donc pas que la présente invention soit limitée, sauf comme indiqué selon les revendications annexées.

LEGENDES DES FIGURES

FIG. 1A et 1B	
21	MOYENS DE DETECTION
45	SERVOCOMMANDE DE SUIVI DE POSITION
25	ROTATEUR TRANSLATEUR
29	CORRECTEUR DE PERSPECTIVE (AGRANDISSEMENT)
27	CALIBRATEUR (CALQUES)
23	PROCESSEUR D'IMAGES
43	TRANSFORMATEUR DE COORDONNEES
31	IMAGEUR
20	ECRAN VIDEO
FIG. 2	
21	MOYENS DE DETECTION
23	PROCESSEUR D'IMAGES
31	IMAGEUR

REVENDICATIONS

1. Système de télémanipulation (10) pour manipuler des objets placés dans une zone de travail réelle (30) à un site de travail distant (16) par un opérateur de commande (14) à partir d'un poste d'opérateur de commande (12), ledit système de télémanipulation (10) comprenant un manipulateur (32, 34) au site de travail avec un organe effecteur terminal (39, 41) pour la manipulation d'un objet dans la zone de travail réelle, un pupitre comprenant une commande manuelle (24, 26) au poste d'opérateur de commande (12) pour la télécommande par l'opérateur de commande (14) du manipulateur, un dispositif de capture d'image (19) pour prendre une image en temps réel de la zone de travail réelle (30), et un générateur d'image (31) pour produire un affichage sur un moniteur pour les yeux de l'opérateur de commande, ledit pupitre comprenant en outre :

un moyen (23) couplé audit dispositif de capture d'image (19) pour traiter l'image en temps réel en une image traitée pour affichage à l'opérateur de commande, dans lequel ledit dispositif de capture d'image est à un angle et à une position par rapport à l'organe effecteur terminal (39, 41) qui diffèrent d'une position relative des yeux de l'opérateur de commande (14) et de la commande manuelle (24, 26), ledit moyen de traitement d'image (23) et ledit générateur d'image coopérant pour produire l'image traitée dudit organe effecteur terminal, caractérisé en ce que l'affichage est placé de sorte que l'image traitée est placée sensiblement à une position à laquelle l'opérateur verrait la commande manuelle, créant ainsi une zone de travail virtuelle (22), et en ce que l'image traitée est sensiblement la même qu'une image prise par un dispositif de capture d'image placé à un angle et à une position par rapport à l'organe effecteur terminal qui sont sensiblement équivalents à un angle et à une position relatifs des yeux de l'opérateur de commande et du pupitre.

2. Système selon la revendication 1, dans lequel ledit moyen de traitement d'image (23) comprend en outre :

un moyen pour convertir une position réelle de l'organe effecteur terminal dans la zone de travail en une position perçue de l'organe terminal de préhension dans l'image traitée, le dispositif de capture d'image (19) étant monoscopique et étant positionné à un angle θ sur un plan de référence, ledit dispositif de capture d'image

(19) étant au-dessus du plan de référence dans un espace de référence, et dans lequel les yeux de l'opérateur de commande (14) sont placés à un angle de 0° par rapport à une ligne de base sur ledit plan de référence, lesdits yeux étant au-dessus dudit plan de référence dans ledit espace de référence, l'image traitée étant tournée pixel par pixel d'un angle θ', qui est approximativement égal à -θ.

3. Système selon la revendication 2, dans lequel les coordonnées de ladite position perçue de l'organe effecteur terminal (39, 41) sont dynamiquement associées aux coordonnées de ladite position réelle de l'organe effecteur terminal par le rapport suivant :

$$\begin{vmatrix} p \\ q \\ r \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \cos\theta' & \sin\theta' & 0 \\ -\sin\theta' & \cos\theta' & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \cos\Phi & 0 & \sin\Phi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\Phi & 0 & \cos\Phi \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} a \\ b \\ c \end{vmatrix}$$

où

[p, q, r] sont les coordonnées de ladite position perçue,

[a, b, c] sont les coordonnées de ladite position réelle,

l'angle θ est la rotation du moyen de capture d'image dans un plan horizontal autour d'un axe vertical,

l'angle θ' étant sensiblement égal à -θ, et

l'angle Φ est l'angle d'inclinaison en dessous dudit axe vertical autour d'un axe normal à une surface du moyen de capture d'image.

4. Système selon la revendication 1, dans lequel ledit moyen de traitement d'image (23) comprend en outre :

un moyen de réalignement statique du manipulateur (32, 34) effectué en faisant tourner le dispositif de capture d'image (19) autour d'un axe normal à une surface du dispositif de capture d'image à une position où le manipulateur apparaît dans l'image traitée comme présenté à l'opérateur de commande (14), où les commandes manuelles (24, 26) sont en dessous d'un point de visualisation de l'opérateur de commande (14).

5. Système selon la revendication 1, dans lequel ledit moyen de traitement d'image (23) comprend en outre :

un moyen pour le réalignement statique du manipulateur effectué en faisant tourner le dispositif de capture d'image (19) autour d'un axe normal à une surface du dispositif de capture d'image à une position où le manipulateur (32,34) apparaît dans l'image traitée tel qu'il est présenté à l'opérateur de commande (14), où les commandes manuelles (24,26) sont au-dessus d'un point de visualisation de l'opérateur de commande.

6. Système selon la revendication 4, dans lequel le dispositif de capture d'image (19) comprend :

une caméra monoscopique (19), dans lequel la rotation du moyen de capture d'image se fait autour d'un axe visuel de ladite caméra monoscopique à travers le centre d'un objectif (28) de ladite caméra monoscopique.

7. Système selon la revendication 4 dans lequel le dispositif de capture d'image (19) comprend :

une caméra stéréoscopique à double ouverture avec un axe perpendiculaire partageant en deux une ligne entre chaque ouverture de ladite caméra stéréoscopique, dans lequel la rotation du dispositif de capture d'image se fait autour d'un axe visuel de ladite caméra stéréoscopique à travers le centre dudit axe normal.

8. Système selon la revendication 4 dans lequel ledit moyen de traitement d'image (23) comprend en outre :

un moyen pour convertir une position réelle de l'organe effecteur terminal dans la zone de travail en une position perçue de l'organe terminal de préhension dans l'image traitée de sorte que le mouvement de l'organe effecteur terminal (39, 41) semble connecté de manière rigide à la commande manuelle (24, 26).

9. Système selon la revendication 8 dans lequel la conversion de ladite position réelle à la ladite position perçue se fait selon le rapport suivant :

$$\begin{vmatrix} p \\ q \\ r \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \cos\Gamma & \sin\Gamma & 0 \\ -\sin\Gamma & \cos\Gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \cos\Phi & 0 & \sin\Phi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\Phi & 0 & \cos\Phi \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} a \\ b \\ c \end{vmatrix}$$

où

[p, q, r] sont les coordonnées de ladite position perçue,

[a, b, c] sont les coordonnées de ladite position réelle,

l'angle Γ est la rotation du moyen de capture d'image autour d'un axe normal à une surface du moyen de capture d'image,

l'angle Φ est l'angle d'inclinaison dudit axe normal en dessous d'un axe vertical, et

l'angle θ est la rotation du moyen de capture d'image dans un plan horizontal autour dudit axe vertical.

10. Système selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel un angle et une position dudit dispositif de capture d'image (19) par rapport à l'organe effecteur terminal (39, 41) diffèrent en échelle et en position latérale en comparaison avec l'opérateur de commande et la commande manuelle, et dans lequel ledit moyen de traitement d'image (23) corrèle la manipulation dudit organe effecteur terminal (39, 41) avec ladite commande manuelle (24, 26), ledit moyen de traitement d'image (23) et ledit générateur d'image (31) conjointement, comprenant en outre :

un moyen (29) pour exécuter une correction de perspective dans l'image traitée après un décalage latéral et un changement d'échelle du dispositif de capture d'image (19).

11. Système selon la revendication 10, dans lequel ledit moyen de correction de perspective (29) comprend un moyen pour exécuter des transformations selon les rapports suivants :

$$\alpha' = \arctan[(x' - m) / (y' - n)],$$

$$L' = [x' - m)2 + (y' - n)2]^{1/2}$$

$$x' = M(x - \Delta x),$$

$$y' = M(y - \Delta y),$$

$$x = L(\sin\alpha) + m,$$

$$y = L(\cos\alpha) + n$$

où

les coordonnées (m, n) décrivent une position d'un point pivot du manipulateur avant que ledit décalage latéral et ledit changement d'échelle ne se produisent,

les coordonnées (m', n') décrivent une position dudit point pivot après que ledit décalage latéral et ledit changement d'échelle se sont produits,

les coordonnées (x, y) décrivent une position de l'organe effecteur terminal avant que ledit décalage latéral et ledit changement d'échelle ne se produisent,

les coordonnées (x', y') décrivent une position de l'organe effecteur terminal après que ledit décalage latéral et ledit changement d'échelle se sont produits,

les coordonnées (Δx, Δy) décrivent le changement de position de l'organe effecteur terminal provoqué par ledit décalage latéral,

le facteur M décrit le facteur d'agrandissement dudit changement

l'angle α est la rotation du manipulateur autour d'un axe vertical avant que ledit décalage latéral et ledit changement d'échelle ne se produisent,

l'angle α' est la rotation du manipulateur autour d'un axe vertical après que ledit décalage latéral et ledit changement d'échelle se produisent,

la longueur L est une distance entre ledit point pivot et l'organe effecteur terminal avant que ledit décalage latéral et ledit changement d'échelle ne se produisent, et

la longueur L' est une distance entre ledit point pivot et l'organe effecteur terminal après que ledit décalage latéral et ledit changement d'échelle se produisent.

12. Système selon l'une quelconque des revendications précédentes, dans lequel le moyen de traitement d'image (23) comprend un dispositif de traitement d'image (23) couplé au générateur d'image (31), le dispositif de traitement d'image traitant l'image en temps réel en l'image traitée.

13. Système selon la revendication 12, dans lequel le dispositif de traitement d'image (23) comprend en outre un moyen pour transformer les coordonnées du dispositif de capture d'image en coordonnées près des organes effecteurs terminaux de sorte que l'image traitée donne à l'opérateur l'impression que le pupitre est pratiquement intégré avec les organes effecteurs terminaux.

14. Système selon la revendication 12 comprenant en outre :

une servocommande pour contrôler la position dudit manipulateur ;
un premier détecteur de position (59, 61) disposé pour détecter une position de ladite manipulation (32, 34) dans ladite zone de travail ;
un deuxième détecteur de position (51, 55) disposé pour détecter une position de ladite commande manuelle (24, 26) au poste d'opérateur ; et
un dispositif de transformation de coordonnées couplé audit moyen de traitement d'image (23), audit premier détecteur de position et audit deuxième détecteur de position pour transformer les informations concernant la position du manipulateur, la position de la commande manuelle et la position de l'image traitée en signaux de commande appliqués à ladite servocommande.

15. Système selon la revendication 14 comprenant en outre un troisième détecteur de position (21) disposé pour détecter une position du dispositif de capture d'image (19), dans lequel le dispositif de transformation de coordonnées est couplé au troisième détecteur de position pour transformer les informations de position relatives au dispositif de capture d'image (19) en signaux de commande.

16. Système selon l'une quelconque des revendications précédentes, et comprenant un moyen de calibrage dynamique (27) comprenant :
un moyen pour amener automatiquement l'organe effecteur terminal (39, 41) à se déplacer à travers une séquence présélectionnée de points de référence distribués dans l'espace tridimensionnel sur l'image traitée ;
un moyen pour afficher un point graphique superposé sur l'affichage de l'organe effecteur terminal de sorte que la position du point soit contrôlée par la position de la commande manuelle (24, 26) ;
un moyen utilisable manuellement pour consigner l'instant où le point est superposé sur l'organe effecteur terminal à chaque point de référence ; et
un moyen pour établir une relation de suivi entre la commande manuelle et l'organe effecteur terminal, pour ainsi établir un calibrage.

17. Système selon l'une quelconque des revendications 1 à 15 comprenant un moyen de calibrage dynamique (27) comprenant :

un moyen pour afficher une représentation d'un élément graphique à quatre points de coordonnées dans l'espace tridimensionnel sur l'image en temps réel de l'organe effecteur terminal (39, 41) ;

un moyen d'entrée manuelle pour consigner l'instant où l'organe effecteur terminal mobile dans le contrôle de la commande manuelle (24, 26) est positionné pour sembler toucher chaque point de référence de l'élément graphique ; et

un moyen pour établir une relation de suivi entre la commande manuelle et l'organe effecteur terminal.

18. Système selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel le dispositif de capture d'image comprend un endoscope.

19. Système selon l'une quelconque des revendications précédentes dans lequel l'organe effecteur terminal comprend un instrument chirurgical.

20. Système selon l'une quelconque des revendications précédentes comprenant un moyen de réalignement dynamique pour réaligner dynamiquement les manipulateurs en exécutant une transformation de coordonnées par le biais d'un moyen de transformation.

21. Procédé pour manipuler des objets situés dans une zone de travail réelle (30) à un site de travail distant (16) par un opérateur de commande (14) à partir d'un poste de commande (12), le procédé comprenant :

l'utilisation d'une commande manuelle (24, 26) au poste d'opérateur de commande (12) pour contrôler à distance un manipulateur (32, 34) avec un organe effecteur terminal (39, 41) au site de travail ;

la prise d'une image en temps réel de la zone de travail réelle (30) en utilisant un dispositif de capture d'image (19) à une position relative par rapport à l'organe effecteur terminal (38, 41) qui soit différente d'une position relative des yeux de l'opérateur de commande (14) et de la commande manuelle (24, 26) ;

le traitement de l'image en temps réel pour la convertir en une image traitée pour affichage à l'opérateur de commande (14), où l'image traitée est sensiblement la même qu'une image prise par un dispositif de capture d'image placé à un angle et à

une position par rapport à l'organe effecteur terminal (39, 41) qui soient sensiblement équivalents à un angle et à une position relatifs des yeux de l'opérateur de commande (14) et du pupitre ; et

l'affichage de l'image traitée à l'opérateur de commande (14) à une position placée sensiblement à une position à laquelle l'opérateur verrait la commande manuelle, créant ainsi une zone de travail virtuelle (22).

22. Procédé selon la revendication 21 comprenant la conversion d'une position réelle de l'organe effecteur terminal (39, 41) dans la zone de travail en une position perçue de l'organe effecteur terminal dans l'image traitée, l'image traitée étant prise à partir d'une position à un angle θ sur un plan de référence et placée au-dessus du plan de référence dans un espace de référence, et dans lequel les yeux de l'opérateur de commande (14) sont placés à un angle de 0° par rapport à une ligne de base sur le plan de référence, les yeux étant au-dessus du plan de référence dans l'espace de référence, l'image traitée étant tournée pixel par pixel d'un angle θ', qui est approximativement égal à -θ.

23. Procédé selon la revendication 22 dans lequel les coordonnées de ladite position perçue de l'organe effecteur terminal (39, 41) sont dynamiquement associées à des coordonnées de ladite position réelle de l'organe terminal de préhension par le rapport suivant :

$$\begin{vmatrix} p \\ q \\ r \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \cos\theta' & \sin\theta' & 0 \\ -\sin\theta' & \cos\theta' & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \cos\Phi & 0 & \sin\Phi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\Phi & 0 & \cos\Phi \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} a \\ b \\ c \end{vmatrix}$$

dans lequel

[p, q, r] sont les coordonnées de ladite position perçue,

[a, b, c] sont les coordonnées de ladite position réelle,

l'angle θ est la rotation du moyen de capture d'image dans un plan horizontal autour d'un axe vertical,

l'angle θ' étant sensiblement égal à -θ, et

l'angle Φ est l'angle d'inclinaison en dessous dudit axe vertical autour d'un axe normal à une surface du moyen de capture d'image.

24. Procédé selon l'une quelconque des revendications 21 à 23, dans lequel l'étape de traitement de l'image comprend le réalignement statique du manipulateur (32, 34) en faisant tourner un dispositif de capture d'image (19), utilisé pour prendre l'image en temps réel, autour d'un axe normal à une surface du dispositif de capture d'image (19) à une position où le manipulateur (32, 34) apparaît sur l'image traitée tel qu'il est présenté à l'opérateur de commande (14), où les commandes manuelles (24, 26) sont en dessous d'un point de visualisation de l'opérateur de commande.

25. Procédé selon l'une quelconque des revendications 21 à 23, dans lequel l'étape de traitement de l'image comprend le réalignement statique du manipulateur (32, 34) en faisant tourner un dispositif de capture d'image (19), utilisé pour prendre l'image en temps réel, autour d'un axe normal à une surface du dispositif de capture d'image (19) à une position où le manipulateur (32, 34) apparaît dans l'image traitée tel qu'il est présenté à l'opérateur de commande (14), où les commandes manuelles (24, 26) sont au dessus d'un point de visualisation de l'opérateur de commande.

26. Procédé selon l'une quelconque des revendications 21 à 25, dans lequel l'étape de prise de l'image en temps réel comprend la conversion d'une position réelle de l'organe effecteur terminal (39, 41) dans la zone de travail en une position perçue de l'organe effecteur terminal dans l'image traitée de sorte que le déplacement de l'organe effecteur terminal semble relié de manière rigide à la commande manuelle (24, 26).

27. Procédé selon la revendication 26, dans lequel la conversion de la position réelle en la position perçue se fait selon le rapport suivant :

$$\begin{vmatrix} p \\ q \\ r \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \cos\Gamma & \sin\Gamma & 0 \\ -\sin\Gamma & \cos\Gamma & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \cos\Phi & 0 & \sin\Phi \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\Phi & 0 & \cos\Phi \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \cos\Theta & \sin\Theta & 0 \\ -\sin\Theta & \cos\Theta & \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} a \\ b \\ c \end{vmatrix}$$

où

[p, q, r] sont les coordonnées de ladite position perçue,

[a, b, c] sont les coordonnées de ladite position réelle,

l'angle Γ est la rotation du moyen de capture d'image autour d'un axe normal à une surface du moyen de capture d'image,

l'angle Φ est l'angle d'inclinaison dudit axe normal en dessous d'un axe vertical, et

l'angle θ est la rotation du moyen de capture d'image dans un plan horizontal autour dudit axe vertical.

28. Procédé selon l'une quelconque des revendications 21 à 27, dans lequel les étapes de traitement de l'image en temps réel corrèlent la manipulation de l'organe effecteur terminal (39, 41) avec la commande manuelle (24, 26) et comprennent l'étape consistant à exécuter une correction perspective dans l'image traitée après un décalage latéral et un changement d'échelle du dispositif (19) pour prendre l'image en temps réel.

29. Procédé selon l'une quelconque des revendications 21 à 28 comprenant l'étape de calibrage dynamique consistant à :

amener automatiquement l'organe effecteur terminal (39, 41) à se déplacer à travers une séquence présélectionnée de points de référence distribués dans l'espace tridimensionnel sur l'image traitée ;

afficher un point graphique superposé sur l'affichage de l'organe effecteur terminal de sorte que la position du point soit contrôlée par la position du moyen de commande manuelle (24, 26) ;

consigner manuellement l'instant où le point est en surimpression sur l'organe effecteur terminal à chaque point de référence ; et

établir une relation de suivi entre la commande manuelle et l'organe effecteur terminal pour ainsi établir un calibrage.

30. Procédé selon l'une quelconque des revendications 21 à 28, comprenant un calibrage dynamique consistant à :

afficher la représentation d'un élément graphique à quatre points de coordonnées dans un espace tridimensionnel sur l'image traitée de l'organe effecteur terminal (39, 41) ;

consigner manuellement l'instant où l'organe effecteur terminal, mobile sous le contrôle de la commande manuelle (24, 26), est placé pour sembler toucher chaque point de référence de l'élément graphique ; et

établir une relation de suivi entre la commande manuelle et l'organe effecteur terminal.

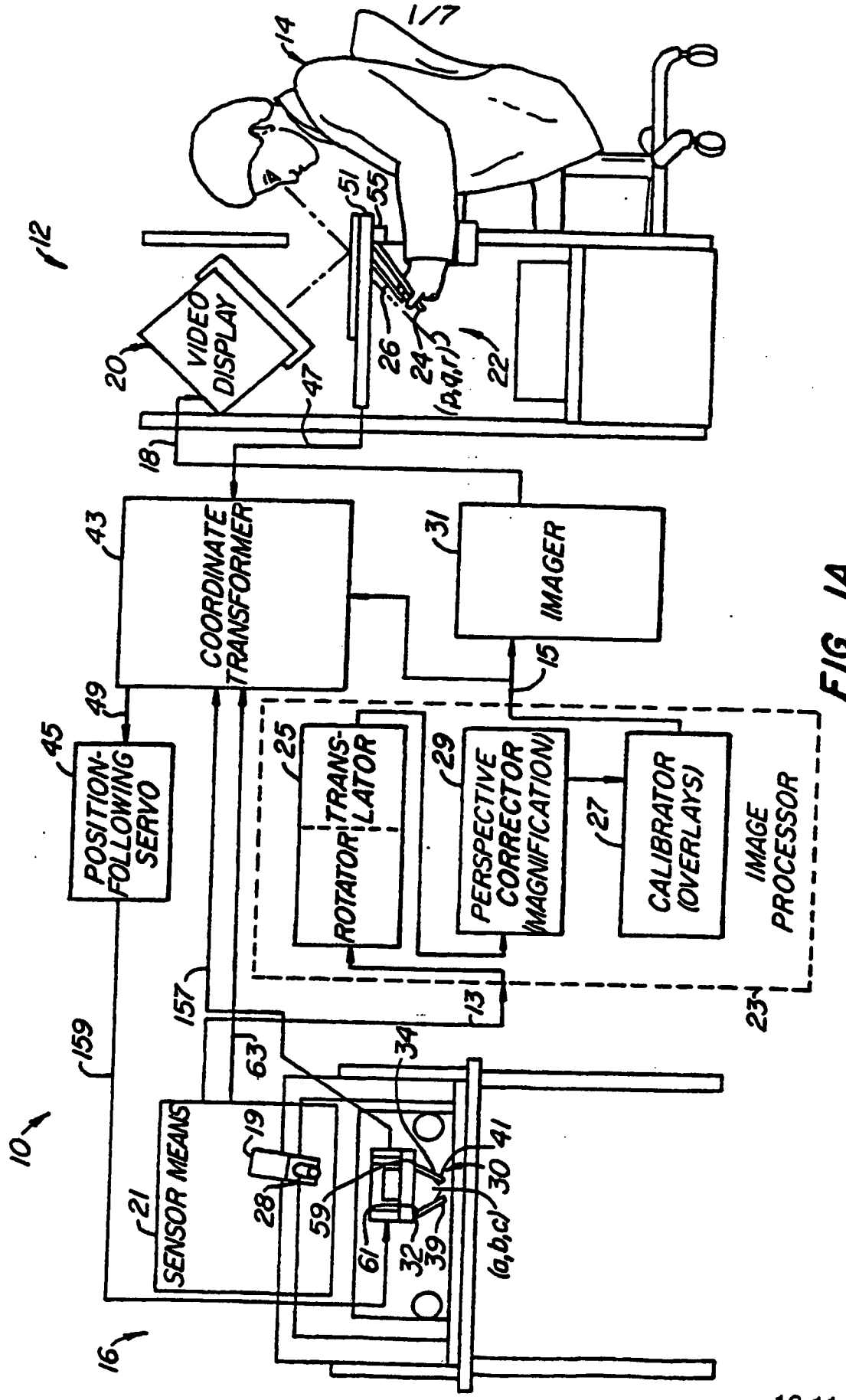
10
12
14
16
17
18
20
21
22
23
24 (a,q,r)
25 TRANSLATOR
ROTATOR
26
27 CALIBRATOR (OVERLAYS)
28
29 PERSPECTIVE CORRECTOR (MAGNIFICATION)
30
31 IMAGER
32
34
39
41
43 COORDINATE TRANSFORMER
45 POSITION-FOLLOWING SERVO
47
49
51
55
59
61
63
(a,b,c)
13
15
19
157
159
IMAGE PROCESSOR
SENSOR MEANS
VIDEO DISPLAY

FIG. 1A.

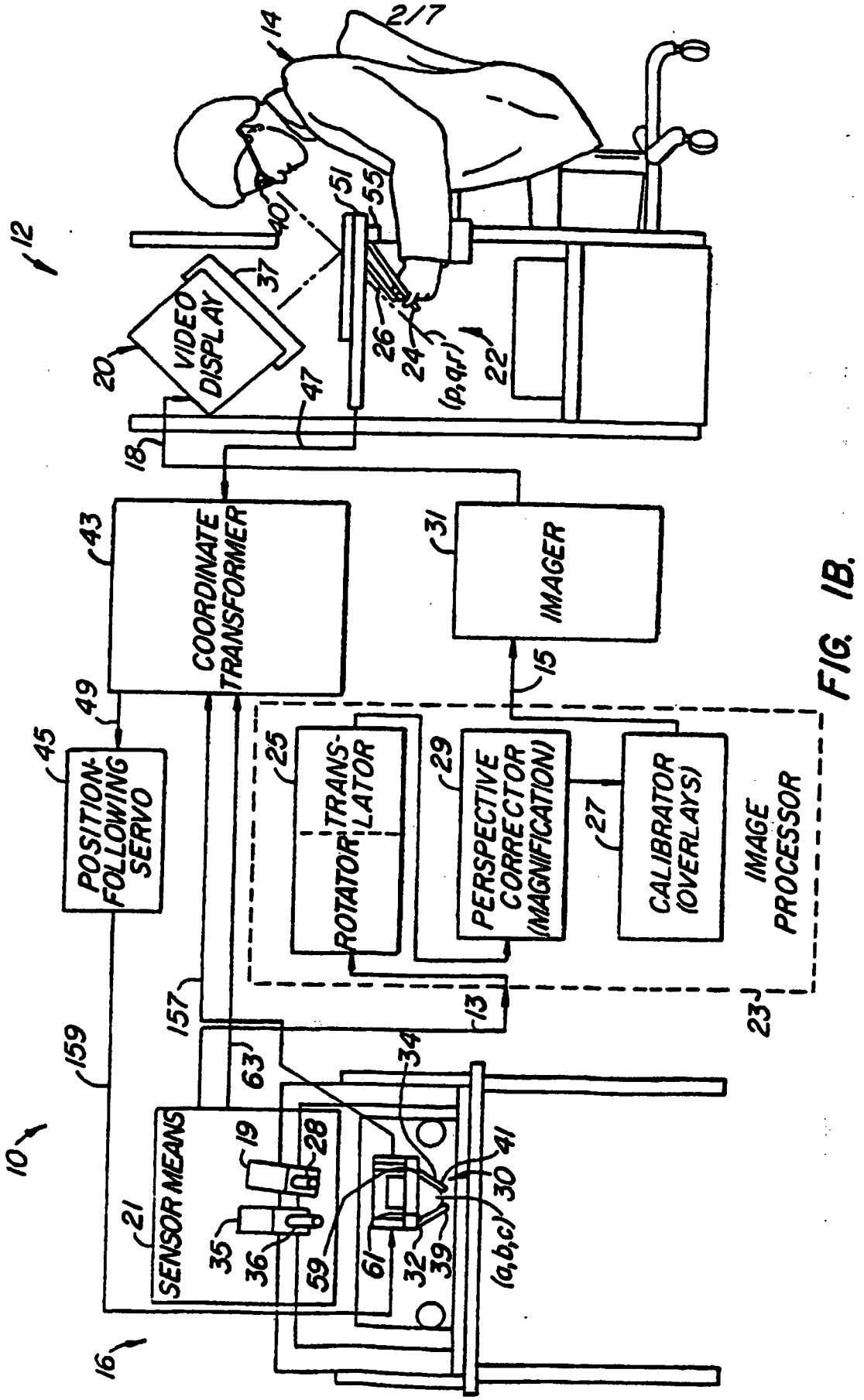
12
14
217
51
55
40
37
VIDEO DISPLAY
20
26
24
(p,q,r)
22
47
18
43
COORDINATE TRANSFORMER
31
IMAGER
15
49
45
POSITION-FOLLOWING SERVO
25
ROTATOR
TRANS-LATOR
29
PERSPECTIVE CORRECTOR (MAGNIFICATION)
27
CALIBRATOR (OVERLAYS)
IMAGE PROCESSOR
23
13
157
159
63
34
10
19
28
41
30
21
SENSOR MEANS
35
36
59
61
32
39
(a,b,c)
16

FIG. 1B.

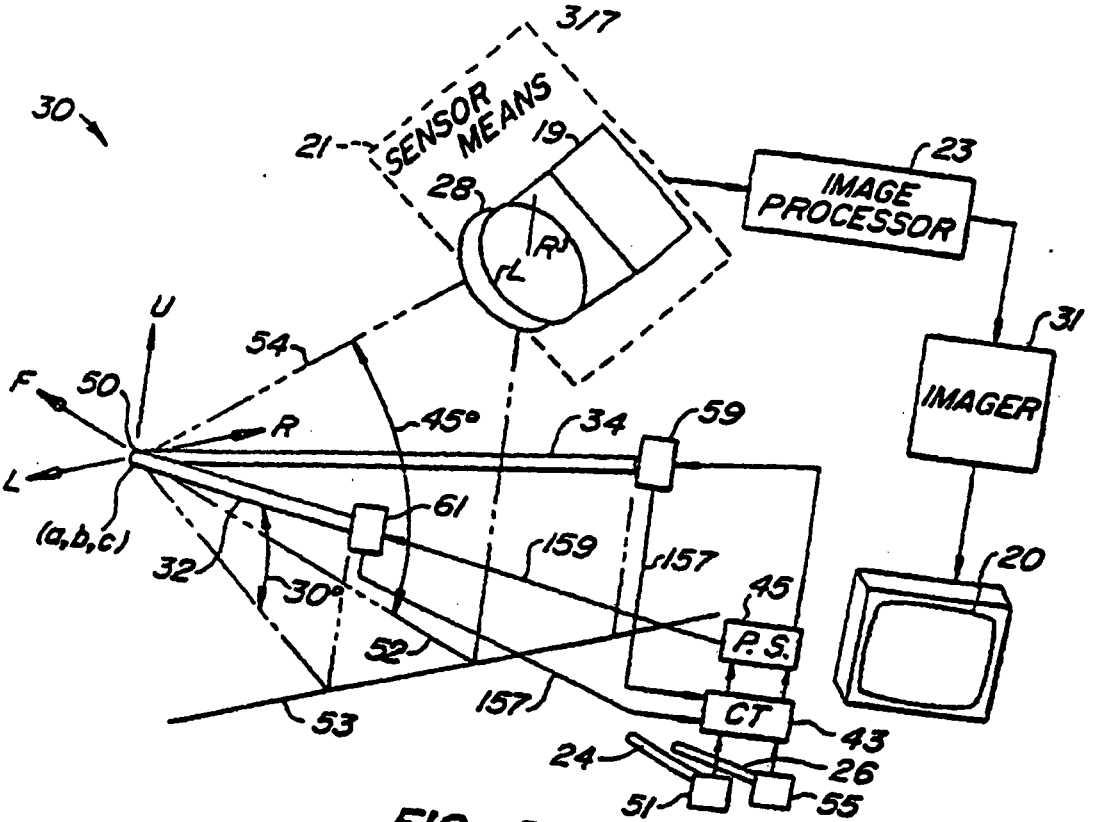
30
317
SENSOR MEANS
21
19
28
R
L
23
IMAGE PROCESSOR
31
IMAGER
20
U
F
50
R
L
(a,b,c)
54
45°
34
59
61
32
30°
159
157
45
P.S.
52
53
157
CT
43
24
26
51
55

FIG. 2.

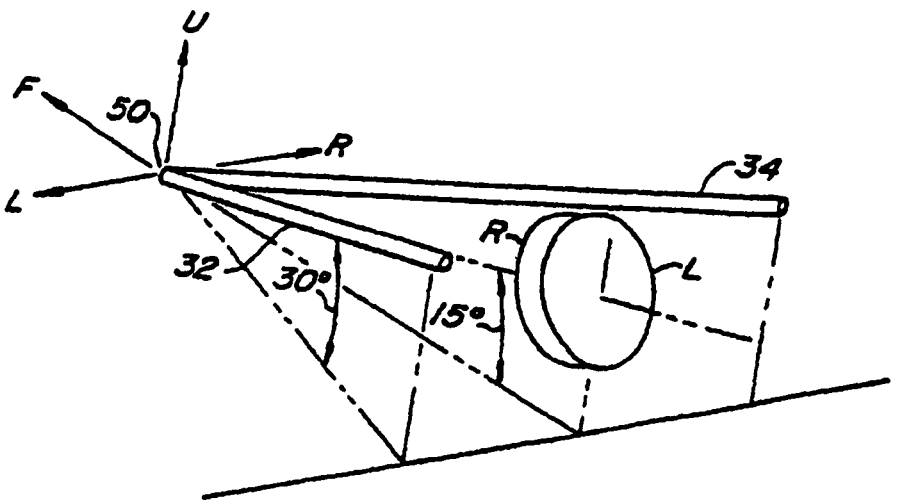
U
F
50
R
L
34
R
L
32
30°
15°

FIG. 4.

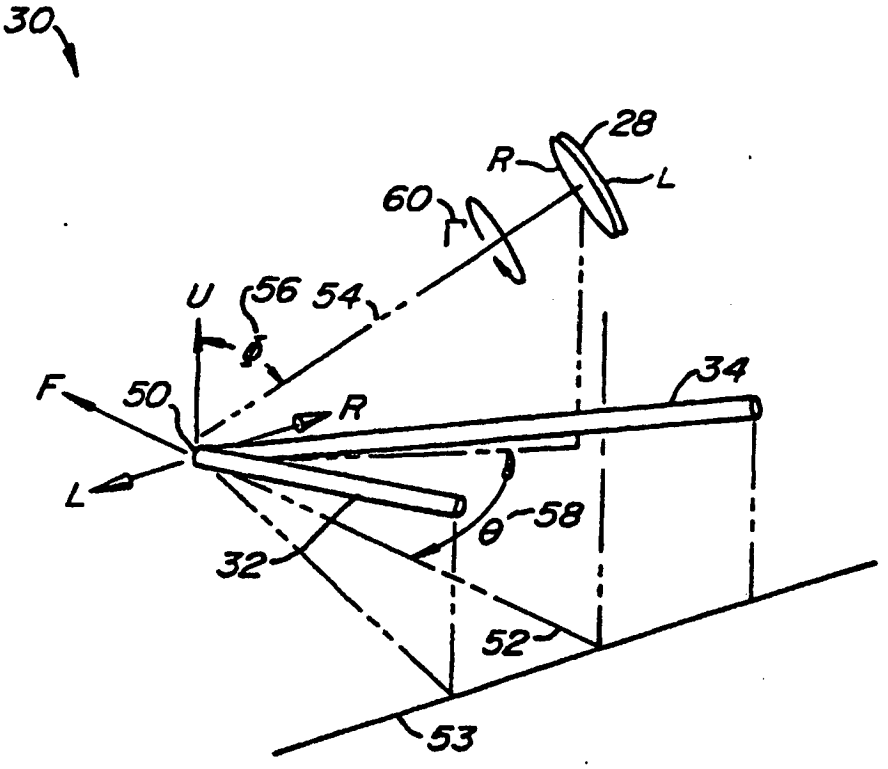

FIG. 3.

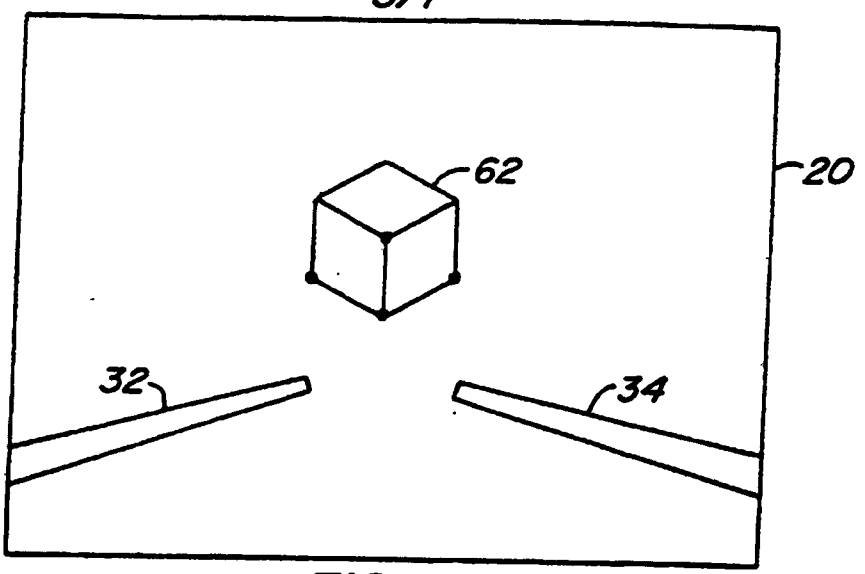

FIG. 6A.

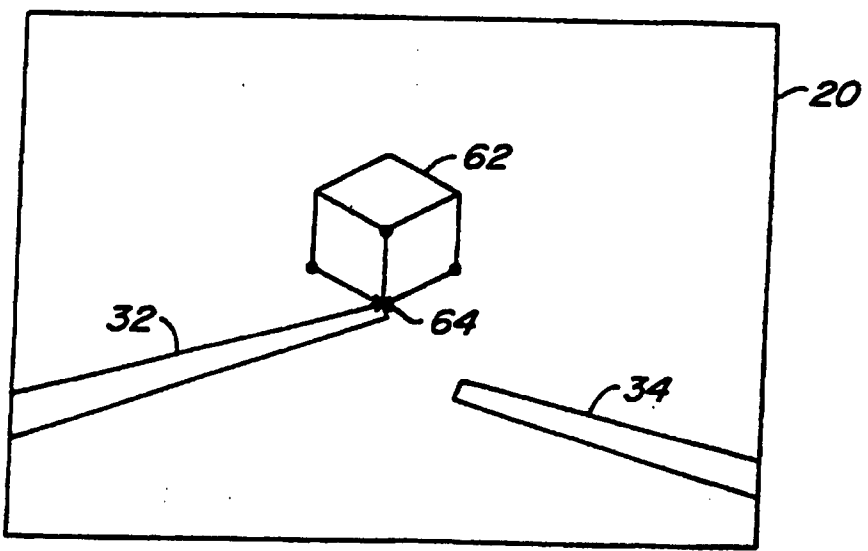

FIG. 6B.

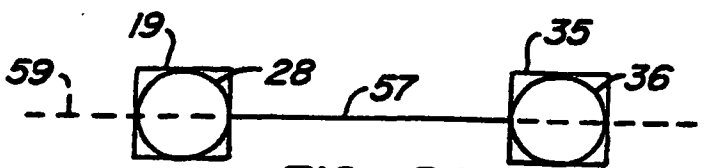

FIG. 5A.

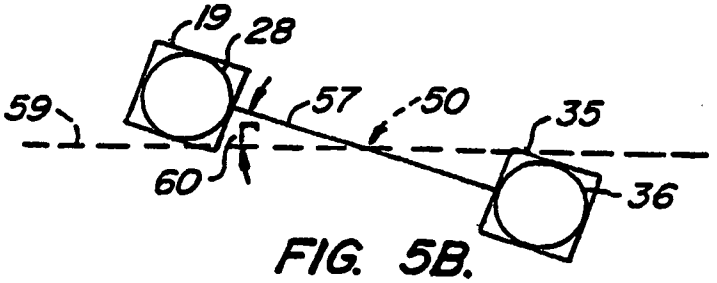

FIG. 5B.

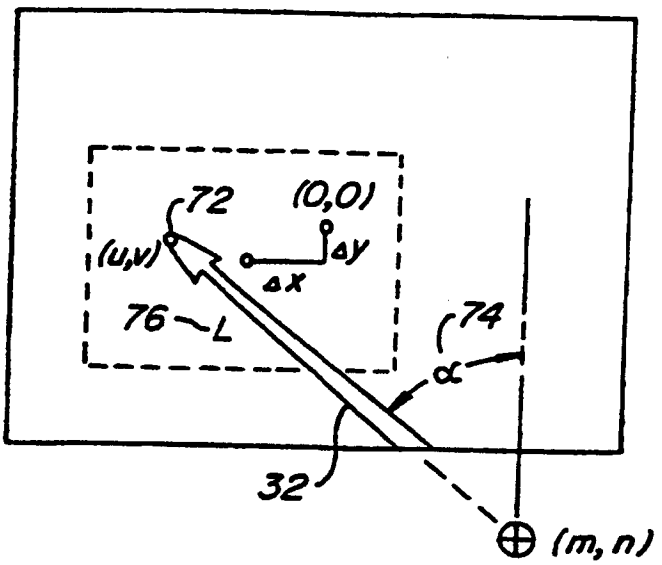

FIG. 7A.

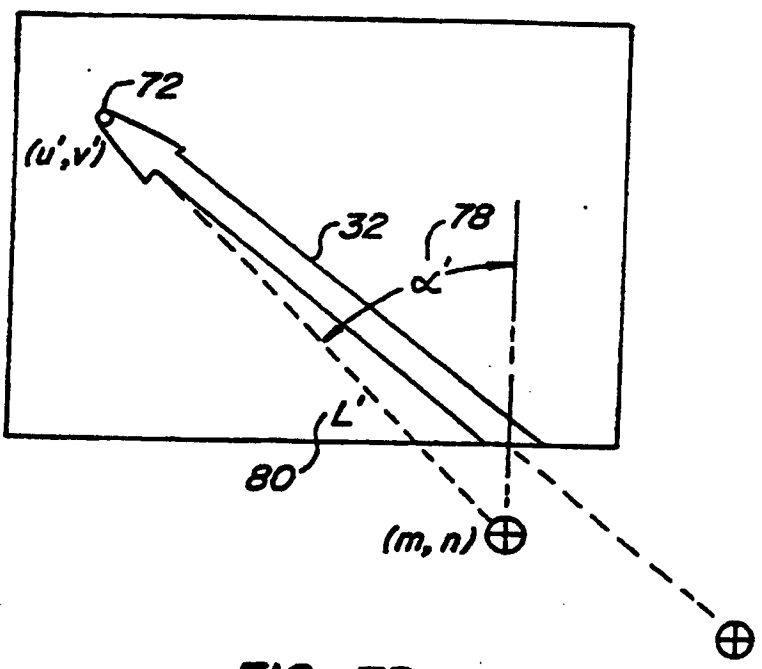

FIG. 7B.

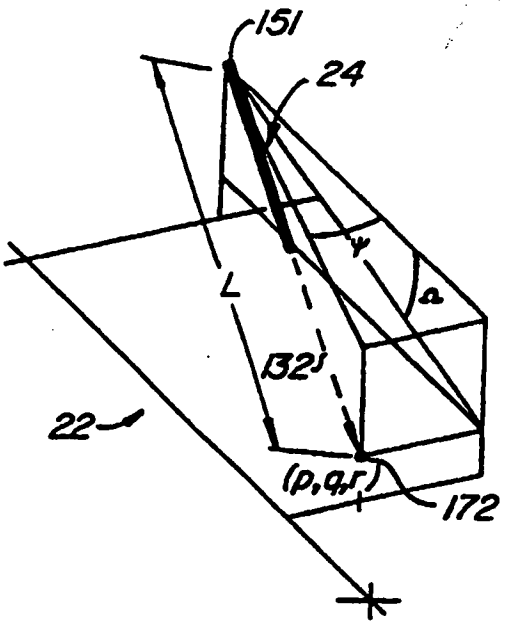

FIG. 8.

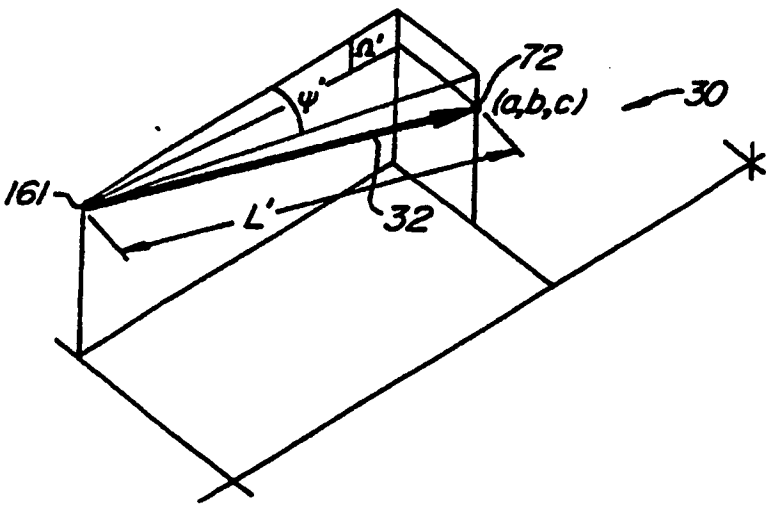

FIG. 9.